

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCUS VINICIUS AIRES GOMES DE SOUZA

COMPENSAÇÕES E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ORIUNDAS
DAS ATIVIDADES DE MANEJO FLORESTAL PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE MONOTRILHO EM SÃO PAULO

CURITIBA

2015

MARCUS VINICIUS AIRES GOMES DE SOUZA

COMPENSAÇÕES E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ORIUNDAS
DAS ATIVIDADES DE MANEJO FLORESTAL PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE MONOTRILHO EM SÃO PAULO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso Especialização em Projetos
Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão
Corporativa de Carbono da Universidade
Federal do Paraná, como requisito para
obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. MSe. Alexandre Behling

CURITIBA

2015

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1 Local do estudo.....	8
2.2 Inventário florestal.....	10
2.3 Supressão, compensação ambiental e a linha de base	11
2.4 Quantificação da biomassa e do dióxido de carbono das espécies arbóreas	12
2.5 Quantificação das emissões de CO ₂	14
2.6 Quantificação das remoções pela compensação ambiental e elaboração de balanço de CO ₂	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
3.1 Inventário Florístico	18
3.2 Quantificação da biomassa e do dióxido de carbono equivalente	20
3.3 Quantificação das emissões e remoções de dióxido de carbono equivalente	22
3.4 Balanço de emissões e remoções de CO _{2eq}	22
4. CONCLUSÕES.....	25
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

RESUMO

No contexto de temas importantes para a sociedade, como: mudanças climáticas e mobilidade urbana, o sistema de monotrilho surge como alternativa de transporte integradora, sustentável e com custos menores comparados ao metrô convencional. Dada a expansão e relevância dos sistemas metro-ferroviários para a região metropolitana de São Paulo, o presente trabalho visa avaliar as emissões e remoções de gases de efeito estufa provenientes das atividades de manejo florestal para a construção de um sistema de monotrilho na zona sul do Município de São Paulo. Desta forma pretende-se estimular o desenvolvimento de inventários de emissões de gases de efeito estufa para a fase de implantação de sistemas metro-ferroviários. Neste estudo, o manejo florestal contempla: a supressão corte de 249 exemplares arbóreos, o transplante de 346 exemplares arbóreos e o plantio de 2.408 mudas. Após a elaboração de inventário florestal para as espécies arbóreas localizadas na área de influência do empreendimento, estimou-se a quantidade de dióxido de carbono equivalente nos indivíduos arbóreos suprimidos e suas respectivas emissões devido ao seu aproveitamento energético na indústria. As emissões oriundas das demais fontes relacionadas ao manejo arbóreo foram estimadas a partir de metodologia do GHG Protocol. O crescimento das mudas plantadas, devido à compensação ambiental, é a única fonte de sequestro de dióxido de carbono. A partir da aplicação da metodologia, obtiveram-se os seguintes resultados: os exemplares suprimidos estocam 59,55 toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, as emissões totais de gases de efeito estufa são de 65,78 toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ e as remoções totais de gases de efeito estufa são de 337,12 toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. Concluiu-se que, no curto prazo, as atividades de manejo arbóreo para implantação do sistema de monotrilho aumentam as emissões de gases de efeito estufa do município de São Paulo. Entretanto, no longo prazo, as remoções de gases de efeito estufa superam as emissões, originando um saldo positivo, aproximadamente 4,5 vezes maior do que no cenário de não implantação do monotrilho.

Palavras-chave: Transporte Público. Carbono. Compensação Ambiental.

ABSTRACT

In the context of important issues for society, such as climate change and urban mobility, the monorail system emerges as integrated transportation alternative, sustainable and lower than conventional subway costs. Given the expansion and importance of the metro-rail systems for the metropolitan area of São Paulo, this study aims to evaluate emissions and greenhouse gas removals from forest management activities for building a monorail system in the southern area of São Paulo. In this way it is intended to stimulate the development of greenhouse gas emissions inventories for the deployment phase of metro-rail systems. In this study the forest management includes: cutting 249 arboreal specimens, transplantation of 346 arboreal specimens and planting of 2,408 seedlings. After drafting forest inventory to tree species located in the area of influence of the project, estimated quantity of carbon dioxide equivalent in arboreal suppressed individuals and their emissions due to their energy use in the industry. Emissions from the other sources related to arboreal management were estimated from GHG Protocol methodology. The growth of planted seedlings due to environmental compensation is the only source of carbon dioxide sequestration. Based on the application of this methodology, the following results were obtained: suppressed specimens stocking 59.55 tons of CO_{2eq}, total emissions of greenhouse gases are 65.78 tons of CO_{2eq} and total removals of greenhouse gases are 337.12 tons of CO_{2eq}. It was concluded that, in the short term, the arboreal management activities to implement the monorail increase emissions of greenhouse gases in São Paulo. However, in the long term, greenhouse gas removals exceed the emissions, resulting in a positive balance, approximately 4.5 times higher than in the scenario of non-implementation of the monorail.

Keywords: Public Transport. Carbon. Environmental Compensation.

1. INTRODUÇÃO

A ação antrópica tem aumentado a concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, principalmente, após a Revolução Industrial. A comunidade científica entende que a ação antrópica vem provocando um efeito sinérgico no efeito estufa natural e ocasionando as chamadas mudanças climáticas. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), por meio do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) é necessário uma redução significativa das emissões para limitar o aumento na temperatura global em até 2°C no ano de 2100.

Nesse contexto, por meio da Política Nacional de Mudanças Climáticas, instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, o Brasil assumiu o compromisso voluntário de adotar ações de mitigação das emissões de GEE, com vistas a reduzir suas emissões projetadas para 2020, entre 36,1% e 38,9%. O Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, de 24 de novembro de 2009, informa que o subsetor de transporte correspondia, em 2005, a 8,6% das emissões totais de dióxido de carbono (CO₂). Assim, é preciso atentar-se para medidas que possam colaborar com a mitigação dos gases de efeito estufa nesse meio.

Segundo Scaringella (2001), São Paulo, a maior cidade brasileira, tem 25% da frota nacional e passa por uma crise de mobilidade urbana devido ao divórcio entre as políticas de uso do solo, transporte e trânsito. Elenca-se, ainda, o fato dos sistemas de transporte públicos de alta capacidade serem isolados, com pouca integração, ligando a periferia ao centro, levando os usuários a passar, obrigatoriamente, pelo centro da cidade, mesmo que este não seja o seu destino.

A Linha 17 – Ouro da Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô-SP) surgiu com a proposta de conectar o Aeroporto de Congonhas ao sistema metro-ferroviário. Essa obra, quando concluída, ainda promoverá a integração entre parte das linhas metro-ferroviárias existentes, dos principais corredores radiais da região sudoeste da capital e de outros eixos que possuem menores volumes de circulação. Os estudos de origem-destino para o empreendimento apontaram que o referido trecho apresentaria médio volume de passageiros.

Logo, optou-se por desenvolver um sistema de monotrilho devido à implantação ser mais simples e possuir custo e prazo inferiores ao metrô convencional.

De acordo com Metrô-SP (2010), o sistema de monotrilho trará diversos benefícios para o município de São Paulo, dentre eles destacam-se as reduções de: tempo de viagem, ruído ambiental, poluição atmosférica, emissões de GEE, e número de acidentes. Isso se deve à redução da utilização de outros modais de transporte (automóvel, ônibus e motocicletas). Além disso, espera-se a geração de empregos diretos e indiretos e a integração do sistema de transporte público.

No entanto, conforme previsto no Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento, durante as fases de planejamento, implantação e operação são gerados impactos ambientais negativos. Por exemplo: supressão de vegetação, perdas de imóveis e impacto social originado pelo processo de desapropriação, impacto visual, geração de ansiedade na população, indução à alteração do uso e ocupação do solo, entre outros.

Tendo em vista a importância da questão das mudanças climáticas, os Órgãos Licenciadores tendem a exigir um inventário de emissões de GEE para grandes empreendimentos, assim como já ocorre em alguns estados da federação, como São Paulo e Rio de Janeiro. De acordo com o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE Metrô 2013, na fase de operação, as emissões de GEE por (passageiro x quilometro) do metrô são aproximadamente trinta vezes menores que a dos automóveis e dez vezes menores que a dos ônibus, em São Paulo. Enfatiza-se que tal estudo considera apenas a fase de operação, ainda não há um inventário que contemple a fase de implantação.

A rede metroviária na Região Metropolitana de São Paulo conta com, aproximadamente, 58 km de extensão. Após um longo período de estagnação, foi retomada a expansão do sistema com a implantação de 4 empreendimentos (Linha 4 – Amarela, Linha 5 – Lilás, Linha 15 – Prata e Linha 17 – Ouro) e outros projetos de expansão (expansão Linha 2 – Verde, Linha 6 – Laranja e Linha 18 – Bronze). Logo, considerando essa conjuntura, faz-se necessário o desenvolvimento de inventários de emissões de GEE.

Dentre os impactos ambientais previstos na implantação do monotrilho, escolheu-se a supressão vegetal para ser objeto deste estudo. Tal escolha se deve a importância da vegetação para uma região impermeabilizada como é o

município de São Paulo e à facilidade na obtenção dos dados referentes à supressão de vegetação e sua respectiva compensação ambiental, uma vez que estes dados são publicados no Diário Oficial do Município.

Em reflexo da importância da vegetação para o município de São Paulo foi instituído o Termo de Compromisso Ambiental (TCA) pela Lei Municipal nº 13.430, de 13 de setembro de 2002, e sua regulação pelo Decreto Municipal nº 47.145, de 29 de março de 2006. O TCA se trata de um documento a ser firmado entre o Poder Público e pessoas físicas ou jurídicas, resultante da negociação de contrapartidas nos casos de autorização prévia para supressão de espécies arbóreas.

Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho é avaliar as emissões e remoções de gases de efeito estufa provenientes das atividades de manejo florestal para a construção de um sistema de monotrilho em São Paulo, bem como estimular o desenvolvimento de inventários de emissões para as obras metro-ferroviárias.

A partir do objetivo geral, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver inventário florestal para a área de estudo;
- Quantificar as emissões de GEE decorrentes das atividades envolvidas no manejo de exemplares arbóreos;
- Quantificar as remoções de gases de efeito estufa provenientes da compensação ambiental; e
- Elaborar balanço das emissões e remoções de GEE pelo empreendimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do estudo

A área de estudo pertence ao município de São Paulo, SP, na qual foi selecionado um trecho com 2,6 km de extensão, local em que será construído um sistema de monotrilho. De acordo com a Figura 1, o trecho está localizado na Avenida Jornalista Roberto Marinho, entre a Avenida Jurubatuba e a Rua Vicente Leporace, no bairro do Brooklin.



Figura 1: Localização da área de estudo, no município de São Paulo. (Fonte: Google Maps, 2015).

Para este estudo foi escolhido apenas este trecho do empreendimento, visto que, foi o local em que as obras de implantação do monotrilho tiveram início e as atividades de supressão de vegetação já foram concluídas.

O empreendimento da Linha 17 – Ouro da Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô-SP) consiste na implantação de um sistema de monotrilho, com aproximadamente 18 km de extensão, ligando o Aeroporto de Congonhas ao sistema metro-ferroviário. Além de promover a integração da Linha 1 – Azul, Linha 4 – Amarela, Linha 5 – Lilás e Linha 9 – Esmeralda na cidade de São Paulo, conforme Figura 2.



Figura 2: Empreendimento da Linha 17 - Ouro e suas conexões com o sistema metro-ferroviário, no município de São Paulo. (Fonte: Metrô-SP, 2015).

Os principais elementos construtivos do empreendimento são: via elevada, estações e pátio de manutenção. Ao todo serão, aproximadamente, 18 km de via elevada, 18 estações e um pátio de manutenção. A via elevada se situa a uma altura de 15 metros e é formada por vigas de concreto protendido distantes entre si de 4,8 metros, apoiadas em pilares espaçados a cada 30 metros.

O processo de licenciamento ambiental do monotrilho em questão foi realizado pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo (SVMA), órgão também responsável por autorizar as atividades de supressão de exemplares arbóreos. E a autorização de supressão de exemplares arbóreos localizados na área de estudo foi dada por meio do TCA nº 107/2012, firmado entre o Metrô-SP e a SVMA.

2.2 Inventário florestal

Para identificar e quantificar as espécies ocorrentes no local, foi realizado um inventário florestal. Neste inventário foram consideradas as espécies vegetais lenhosas, com diâmetro à altura do peito (dap) maiores que 3,0 cm, presentes numa faixa de, aproximadamente, 20 metros ao longo da obra.

A elaboração do inventário foi realizada por profissional habilitado (engenheiro agrônomo), o qual identificou as espécies arbóreas, sendo coletadas

as seguintes informações: nome científico, nome popular, DAP, altura e estado fitossanitário.

O dap das espécies arbóreas foi mensurado com uma suta e a altura foi mensurada utilizando-se um hipsômetro. Para aqueles indivíduos com bifurcações abaixo do dap, foram consideradas como árvores individuais. Todos os indivíduos arbóreos foram georreferenciados por meio de Sistema Global de Posicionamento (GPS).

2.3 Supressão, compensação ambiental e a linha de base

Segundo Coelho (2008), existem três formas de atuação usualmente adotadas para minimizar os impactos ambientais: prevenção, mitigação e compensação. A prevenção busca evitar que um dano seja causado. A mitigação consiste em atenuar as consequências do dano. Já, a compensação consiste num mecanismo financeiro de indenização prévia ou posterior (reparação) à concretização do impacto ambiental.

O Decreto Municipal nº 47.145, de 29 de março de 2006, o qual vigorava na época de emissão do TCA nº 107/2012, estabelece que a compensação ambiental proveniente da supressão vegetal deve ser, prioritariamente, o plantio de exemplares arbóreos e, excepcionalmente, obras e serviços. A Lei Municipal nº 13.430, de 13 de setembro de 2002, também previu que os recursos financeiros advindos da aplicação do TCA constituirão receita que integrará o Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (FEMA).

A partir do inventário florestal, foi elaborado projeto de manejo arbóreo, o qual concluiu que seriam necessários: a supressão corte de 196 exemplares arbóreos, sendo 66 espécimes exóticos e 130 espécimes nativos; a remoção de 53 exemplares arbóreos mortos; e o transplante de 346 exemplares arbóreos.

Juntamente com a proposta de supressão de vegetação, baseado na legislação municipal, o empreendedor apresentou proposta de compensação ambiental, para ser implantada até o final das obras, composta pela preservação de 60 exemplares arbóreos, plantio interno de 408 mudas com dap 5,0 cm, plantio no entorno do empreendimento de 2.000 mudas com dap 3,0 cm, implantação de 704 m² de calçada verde e conversão de 19.760 mudas a ser deliberada pela SVMA. Ressalta-se que o TCA nº 107/2012 estabeleceu que as mudas com dap

de 5,0 cm devem receber manutenção durante seis meses e as mudas com dap de 3,0 cm e os exemplares transplantados devem receber manutenção durante doze meses.

O Metrô-SP planeja realizar o plantio de mudas nativas do estado de São Paulo abaixo da via elevada do monotrilho e nas praças e passeios adjacentes ao empreendimento, uma vez que as mudas são extremamente importantes para atenuar o impacto visual deste modal e melhorar a qualidade de vida da população lindeira.

O resíduo lenhoso gerado pelo corte dos exemplares arbóreos foi reaproveitado por indústrias que o utilizam como combustível.

Para a estimativa da linha de base do projeto, considerou-se o que aconteceria na inexistência do mesmo. Logo, estimou-se que as árvores permaneceriam preservadas.

Já, com a presença do empreendimento, foram consideradas apenas as emissões de GEE das seguintes atividades: transporte do resíduo lenhoso para a indústria, queima do resíduo lenhoso, transporte das mudas a serem plantadas, transporte de insumos durante a manutenção das mudas e utilização do fertilizante. Quanto às remoções, foram consideradas aquelas oriundas do crescimento das mudas plantadas.

2.4 Quantificação da biomassa e do dióxido de carbono das espécies arbóreas

Segundo Arevalo *et al.* (2002), a capacidade de absorção e fixação de carbono pelas árvores ocorre em função de diversos fatores, como: espécie, taxa de crescimento, longevidade, localização, clima, período de rotação, entre outros. Segundo o autor, no caso da longevidade dos exemplares, no geral, quanto mais jovem a formação vegetal, mais carbono é fixado, já as formações maduras tendem atingir um estágio de equilíbrio quanto à absorção de carbono, uma vez que liberam a mesma quantidade mediante a decomposição da madeira morta e das árvores em senescência.

De acordo com Neto (2012), para a determinação ou estimativa da biomassa vegetal podem ser utilizados métodos diretos e indiretos. O método direto consiste no corte do exemplar arbóreo para aferição exata do seu peso e

medidas. Já, no método indireto, o exemplar arbóreo é preservado e a estimativa de biomassa é feita por meio de relações matemáticas provenientes do inventário florestal.

Neste trabalho foi utilizado o método indireto para a quantificação da biomassa. Para tanto, buscou-se obter, na literatura, uma equação para cada espécie suprimida. Para as espécies que não foram encontradas equações alométricas referenciais e para as espécies mortas, utilizou-se a equação de Arevalo *et al.* (2012). No Quadro 1 estão apresentadas as equações utilizadas para o cálculo da biomassa das espécies relacionadas.

Quadro 1: Equações selecionadas para o cálculo de biomassa (kg) das espécies arbóreas suprimidas em decorrência das obras do monotrilho no bairro do Brooklin, em São Paulo.

Equação *	Espécies relacionadas	Referência
$\ln(y) = -0,566 + 0,071 \times h + 1,289 \times \ln(dap)$	<i>Eucalyptus spathulata</i> Hook	Viera <i>et al.</i> (2013)
$y = 0,15354 \times dap^{2,195218}$	<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	Valerio (2009)
$\ln(y) = -1,19829 + 1,98391 \times \ln(dap)$	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Lacerda <i>et al.</i> (2009)
$\ln(PF) = -2,694 + 2,038 \times \ln(dap) + 0,902 \times \ln(h)$ $y = 0,6 \times PF$	<i>Bauhinia variegata</i> L. <i>Caesalpinia pluviosa</i> DC. <i>Erythrina speciosa</i> Andrews <i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby <i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl. <i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	Velasco e Higuchi (2009) apud Higuchi <i>et al.</i> (2008)
$y = 0,1184 \times dap^{2,53}$	Mortas e demais espécies	Arevalo <i>et al.</i> (2002)
* Na qual, y = biomassa (kg), h = altura (m), dap (cm), PF = peso fresco (kg).		

Da mesma forma, para calcular o estoque de carbono, procurou-se obter, na literatura, uma equação ou o teor de carbono para cada espécie suprimida. No Quadro 2 estão apresentadas as equações e teores de carbono selecionados.

Quadro 2: Equações selecionadas para o cálculo de carbono (kg) das espécies arbóreas suprimidas em decorrência das obras do monotrilho no bairro do Brooklin, em São Paulo.

Equação / Teor de carbono *	Espécies relacionadas	Referência
$TC = 45\% y$	<i>Eucalyptus sp.</i>	Müller et al. (2009)
$TC = 0,06729 \times dap^{2,19599}$	<i>Pinus Elliottii</i>	Valerio (2009)
$\ln(TC) = -1,84511 + 1,98505 \times \ln(dap)$	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Lacerda et al. (2009)
$TC = 48\% y$	<i>Bauhinia forficata</i> <i>Caesalpinia pluviosa</i> <i>Erythrina speciosa</i> <i>Senna macranthera</i> <i>Tabebuia impetiginosa</i> <i>Tibouchina granulosa</i>	Velasco e Higuchi (2009) apud Higuchi et al (2008)
$TC = 45\% y$	Mortas e demais espécies	Arevalo et al. (2002)
* Na qual, $TC = \text{teor de carbono (kg)}$ e $y = \text{biomassa (kg)}$		

O estoque de dióxido de carbono (CO₂) equivalente por espécie foi obtido multiplicando-se o estoque de carbono (C) da espécie pelo fator 3,67. Este fator é resultado da relação entre a massa molecular do CO₂ (44) e massa atômica do C (12), metodologia utilizada pelo GHG Protocol da agricultura (WRI Brasil).

2.5 Quantificação das emissões de CO₂

Conforme citado no item 2.3, consideraram-se as emissões de GEE oriundas da queima do resíduo lenhoso, do transporte de resíduos, do transporte de materiais, do transporte de mão-de-obra e a do fertilizante utilizado. Ressalta-se que todos os cálculos foram desenvolvidos de acordo com metodologia do IPCC (2006).

A estimativa das emissões de GEE provenientes da queima do resíduo foi realizada considerando-se a oxidação completa do carbono para o dióxido de carbono, ou seja, o mesmo valor de CO_{2eq} estocado nos espécimes suprimidos.

A atividade de transporte foi realizada por meio de caminhão movido a combustão de óleo diesel e as emissões totais de GEE foram estimadas a partir da expressão (1):

$$ECO_{2eq} = ECO_2 + 21 ECH_4 + 310 EN_2O \quad (1)$$

Em que:

ECO_{2eq} = emissão total em CO_2 equivalente (t);

ECO_2 = emissão de dióxido de carbono (t);

ECH_4 = emissão de metano (t); e

EN_2O = emissão de óxido nitroso (t)

As constantes 21 e 310 representam o potencial de aquecimento global do metano e do óxido nitroso, respectivamente.

As emissões de CO_2 foram calculadas conforme expressão (2):

$$ECO_2 = C_{diesel} \times PCIdiesel \times TCdiesel \times FOdiesel \times 3,67 \quad (2)$$

Em que:

ECO_2 = emissão de dióxido de carbono (t);

C_{diesel} = consumo de óleo diesel (m^3);

$PCIdiesel$ = poder calorífico inferior do óleo diesel (TJ/ m^3), foi adotado o valor de 0,03552 (MME, 2015);

$TCdiesel$ = teor de carbono do óleo diesel por energia (tC/TJ), foi adotado o valor de 20,2 tC/TJ (default – IPCC, 2006);

$FOdiesel$ = fator de oxidação de carbono para dióxido de carbono (%), foi adotado o valor de 100% (default – IPCC, 2006); e

3,67 = relação entre a massa molecular do CO_2 e massa atômica do C.

As emissões de CH_4 foram calculadas conforme expressão (3):

$$ECH_4 = (C_{diesel} \times PCIdiesel \times FECH4diesel) \div 1000 \quad (3)$$

Em que:

ECH_4 = emissão de metano (t);

C_{diesel} = consumo de óleo diesel (m^3);

$PCIdiesel$ = poder calorífico inferior do óleo diesel (TJ/ m^3), foi adotado o valor de 0,03552 (MME, 2015);

$FECH_4\text{diesel}$ = fator de emissão de metano para o óleo diesel (kg/TJ), foi adotado o valor de 3,9 kg/TJ (default – IPCC, 2006); e

As emissões de N_2O foram calculadas conforme expressão (4):

$$EN_2O = (Cdiesel \times PCIdiesel \times FEN_2Odiesel) \div 1000 \quad (4)$$

Em que:

EN_2O = emissão de óxido nitroso (ton);

$Cdiesel$ = consumo de óleo diesel (m^3);

$PCIdiesel$ = poder calorífico inferior do óleo diesel (TJ/ m^3), foi adotado o valor de 0,03552 (MME, 2015);

$FEN_2Odiesel$ = fator de emissão de óxido nitroso para o óleo diesel (kg/TJ), foi adotado o valor de 3,9 kg/TJ (default – IPCC, 2006); e

No transporte dos resíduos, considerou-se que a indústria a qual utiliza a lenha está distante 100 km das obras do monotrilho e um consumo específico de óleo diesel de 3,17 km/l para o caminhão pesado que executa o transporte (MMA, 2011). Também, estimou-se que seriam necessárias 3 viagens para transportar todo o resíduo lenhoso em caçambas de 30 m^3 .

Para o transporte das mudas, foi considerado que o viveiro fornecedor de mudas está distante 100 km do empreendimento e um consumo específico de óleo diesel de 3,17 km/l para o caminhão pesado que realiza o transporte (MMA, 2011). Ademais, foi estimado que são necessárias 24 viagens para transportar as 2.408 mudas a serem plantadas na área do empreendimento e no seu entorno.

Já o transporte de mão de obra e insumos, entre eles o fertilizante, para a manutenção das mudas, foi considerado que a empresa que realiza a manutenção está distante 30 km das obras do monotrilho e um consumo específico de óleo diesel de 7,61 km/l para o caminhão leve que executa o transporte (MMA, 2011). Também, foi estimada a realização de 13 viagens, uma para os funcionários executarem o plantio e outras doze para executarem a manutenção.

As emissões totais de GEE proveniente da utilização de fertilizante nitrogenado sintético foram calculadas da seguinte maneira, conforme metodologia do GHG Protocol da agricultura (WRI Brasil):

$$EN_2O = N \times (1 - Fg) \times FE \quad (5)$$

Em que:

EN_2O = emissões de óxido nitroso (kg);

N = quantidade de nitrogênio aplicado como fertilizante nitrogenado (kg);

Fg = fração do nitrogênio aplicado que volatiliza na forma de NH_3 e NO_x (%), foi adotada a fração de 10%; e

FE = fator de emissão de óxido nitroso (%), foi adotado um fator de 0,30%.

A partir das emissões de óxido nitroso, obtêm-se as emissões de CO_{2eq} multiplicando-se pelo fator 310.

2.6 Quantificação das remoções pela compensação ambiental e elaboração de balanço de CO_2

As remoções de GEE pelo empreendimento ocorrem pelo crescimento das mudas nativas do Estado de São Paulo. Estimou-se um incremento médio anual (IMA) por indivíduo arbóreo, em biomassa total da parte aérea de 7,0 kg de CO_{2eq} por ano e por árvore, ou 140 kg CO_{2eq} por árvore aos 20 anos de idade, hipótese conservadora segundo Lacerda *et. al.* (2009).

O balanço das emissões e remoções de CO_2 foi elaborado para um horizonte de 20 anos a partir da realização dos plantios, conforme a ordem cronológica apresentada no Quadro 3.

Quadro 3: Ordem cronológica das atividades relacionadas ao manejo arbóreo que contribuem nas emissões e remoções de GEE, para a implantação do sistema de monotrilha na cidade de São Paulo.

Ano	Atividades
2012	<ul style="list-style-type: none"> - Supressão de todos os espécimes previstos para corte - Transplante de todos os indivíduos previstos (dezembro) - Transporte do resíduo lenhoso para a indústria - Queima do resíduo lenhoso
2013	- Manutenção dos transplantes (janeiro)
2015	- Transporte das mudas do viveiro para a obra (dezembro)
2016	<ul style="list-style-type: none"> - Plantio das mudas (janeiro) - Manutenção das mudas
2016 a 2035	- Crescimento das mudas

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Inventário Florístico

Após a realização do inventário florístico para todos os indivíduos arbóreos presentes nas proximidades do empreendimento, foram selecionados aqueles que possuíam intervenção direta com as obras civis de construção do monotrilha e cujo manejo previsto era o corte. No Quadro 4 estão apresentadas as espécies identificadas, o nome do pesquisador que fez a descrição da espécie, seu nome popular, a quantidade de indivíduos observados, o DAP médio dos exemplares e a altura média.

Quadro 4: Resultado resumido do inventário florístico dos exemplares arbóreos suprimidos pela implantação do monotrilho no bairro do Brooklin, município de São Paulo.

Espécie	Nome popular	Número de indivíduos	Média dos DAP (cm)	Média de Altura (m)
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico-branco	1	17,3	4,0
<i>Bauhinia variegata</i> L.	Pata de vaca	5	19,0	4,0
<i>Caesalpinia férrea</i> Mart.	Pau-ferro	12	23,3	6,1
<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Sibipiruna	3	6,7	4,5
<i>Ceiba speciosa</i> (A St.-Hil) Ravenna	Paineira	1	32,2	6,0
<i>Erythrina speciosa</i> Andrews	Suinã	51	8,4	3,1
<i>Eucalyptus spathulata</i> Hook	Eucalipto	15	47,2	15,7
<i>Ficus benjamina</i> L.	Figueira	3	39,1	8,0
<i>Indeterminada</i> (Sem folha)	-	3	6,0	3,3
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda mimoso	5	23,2	5,5
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	Resedá	2	5,8	2,3
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Leucena	8	16,4	4,4
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	Alfeneiro	1	11,0	4,0
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Jacaranda paulista	3	14,4	3,0
Morta	-	53	7,9	3,3
<i>Morus nigra</i> L.	Amoreira	1	7,8	1,8
<i>Murraya exótica</i> L.	Falsa mursa	1	5,8	2,0
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula	7	16,1	4,9

Espécie	Nome popular	Número de indivíduos	Média dos DAP (cm)	Média de Altura (m)
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	Pinheiro	18	7,2	4,1
<i>Psidium guajava</i> L.	Goiaba	5	19,9	4,2
<i>Schefflera actinophylla</i> (Endl.) Harms	Árvore-polvo	6	20,0	5,9
<i>Schinus molle</i> L.	Aroeira-salsa	5	26,0	3,4
<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby	Manduirana	1	5,0	3,0
<i>Syzygium spathulatum</i> Thwaites	Jambolão	1	33,8	8,0
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl.	Ipê-rosa	12	19,8	5,0
<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	Quaresmeira	20	13,0	3,7
<i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze	Tipuana	2	47,0	8,0
<i>Vernonia polyanthes</i> (Spreng.) Less.	Assa-peixe	4	15,7	4,5
TOTAL		249	15,0	4,7

Observa-se que os 196 indivíduos arbóreos vivos se dividiam em 28 espécies diferentes, sendo que não foi possível determinar a espécie de 3 destes indivíduos. No momento da realização do inventário, 53 indivíduos arbóreos estavam mortos. Dessa forma, considerando os indivíduos vivos e mortos, totaliza-se o corte de 249 indivíduos arbóreos.

3.2 Quantificação da biomassa e do dióxido de carbono equivalente

A partir da metodologia apresentada no item 2.5, estimou-se a biomassa (kg), estoque de carbono (kg) e estoque de dióxido de carbono equivalente (kg) das espécies suprimidas, conforme está apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Resultado da estimativa de biomassa, carbono e dióxido de carbono das espécies contidas no inventário florístico.

Espécie	Biomassa (kg)	Estoque de carbono (kg)	Estoque de dióxido de carbono equivalente (kg)
<i>Anadenanthera colubrina</i>	86,74	45,57	167,26
<i>Bauhinia variegata</i>	343,99	165,11	605,97
<i>Caesalpinia ferrea</i>	4.270,80	1.921,86	7.053,23
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	21,75	10,44	38,32
<i>Ceiba speciosa</i>	775,12	348,81	1.280,11
<i>Erythrina speciosa</i>	502,21	241,06	884,69
<i>Eucalyptus sp.</i>	4.373,32	1.968,00	7.222,55
<i>Ficus benjamina</i>	4.299,70	1.934,87	7.100,96
<i>Indeterminada (Sem folha)</i>	34,24	15,41	56,54
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1.907,60	858,42	3.150,40
<i>Lagerstroemia indica</i>	20,51	9,23	33,87
<i>Leucaena leucocephala</i>	1.327,29	597,28	2.192,02
<i>Ligustrum lucidum</i>	51,06	22,98	84,32
<i>Machaerium villosum</i>	340,53	153,24	562,39
Morta	2.922,24	1.315,01	4.826,08
<i>Morus nigra</i>	21,47	9,66	35,45
<i>Murraya exotica</i>	10,25	4,61	16,93
<i>Peltophorum dubium</i>	1.177,24	529,76	1.944,21
<i>Pinus elliottii</i>	327,61	143,86	527,96
<i>Psidium guajava</i>	1.174,81	528,66	1.940,19
<i>Schefflera actinophylla</i>	1.789,11	805,10	2.954,72
<i>Schinus molle</i>	3.121,77	1.404,80	5.155,60
<i>Senna macranthera</i>	2,90	1,39	5,12
<i>Syzygium sp.</i>	876,48	394,41	1.447,50
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	961,38	461,46	1.693,56
<i>Tibouchina granulosa</i>	593,77	285,01	1.045,99
<i>Tipuana tipu</i>	4.028,74	1.812,93	6.653,47
<i>Vernonia polyanthes</i>	525,35	236,41	867,61
Total	35.887,99	16.225,35	59.547,03

Ou seja, foi obtido um teor de carbono por árvore médio de 45,2%.

3.3 Quantificação das emissões e remoções de dióxido de carbono equivalente

No Quadro 6 estão apresentadas as emissões de CO_{2eq} oriundas das atividades relacionadas ao manejo florestal, realizado para a implantação do sistema de monotrilha no bairro do Brooklin do município de São Paulo.

Quadro 6: Emissões de CO_{2eq}, em toneladas, das atividades relacionadas ao sistema de monotrilha, localizado no bairro do Brooklin, do município de São Paulo.

Atividade	Emissão de CO_{2eq} (t)
Queima do resíduo lenhoso para geração de energia na indústria	59,55
Transporte do resíduo lenhoso entre a obra e a indústria	0,51
Transporte de mudas entre o viveiro e o empreendimento	4,06
Transporte para a manutenção dos plantios	0,27
Transporte para a manutenção dos transplantes	0,27
Uso do fertilizante para o plantio	0,97
Uso do fertilizante para o transplante	0,15
Total	65,78

Foram estimadas a remoção de 16,86 t CO_{2eq} a cada ano, totalizando 337 t CO_{2eq} após 20 anos, devido ao plantio de 2.408 mudas nativas do estado de São Paulo.

3.4 Balanço de emissões e remoções de CO_{2eq}

O balanço de emissões e remoções de CO₂ oriundas das atividades de manejo arbóreo do empreendimento pode ser observado na Figura 3.

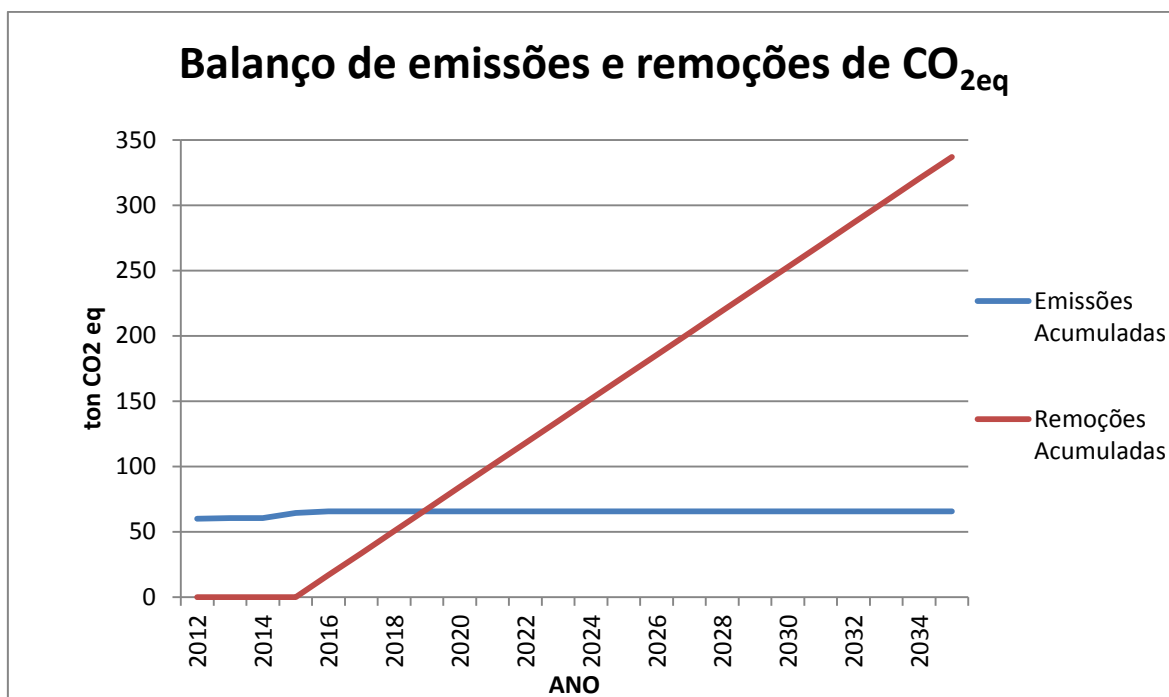


Figura 3: Balanço de emissões e remoções de dióxido de carbono equivalente oriundas das atividades de manejo arbóreo do monotrilha, no bairro do Brooklin em São Paulo.

Nota-se que as emissões de GEE oriundas das atividades de manejo florestal do local de estudo ocorrem durante os cinco primeiros anos do início da implantação do empreendimento. Já, as remoções ocorrem apenas após o plantio, que neste trabalho foi considerado que será executado no ano de 2016. Estima-se que a partir do final do ano de 2019, aproximadamente quatro anos após o plantio das 2.408 mudas, as remoções de dióxido de carbono equivalente se igualarão às emissões.

Ainda, observa-se que, na temática de manejo florestal, caso não fosse implantado o monotrilha seria mantido o estoque de dióxido de carbono de 59,55 t CO_{2eq}. Agora, considerando a implantação do empreendimento, há a formação de um estoque de dióxido de carbono de 337,12 t CO_{2eq}.

Na Figura 4, pode-se observar que a participação do empreendimento causa um déficit de estoque de dióxido de carbono equivalente até, aproximadamente, o final do ano de 2018, sendo que o estoque de CO₂ se iguala em 2023. Ao final do período, o estoque de dióxido de carbono equivalente contando a participação do monotrilha é, aproximadamente, 4,5 vezes maior do que com a sua ausência.

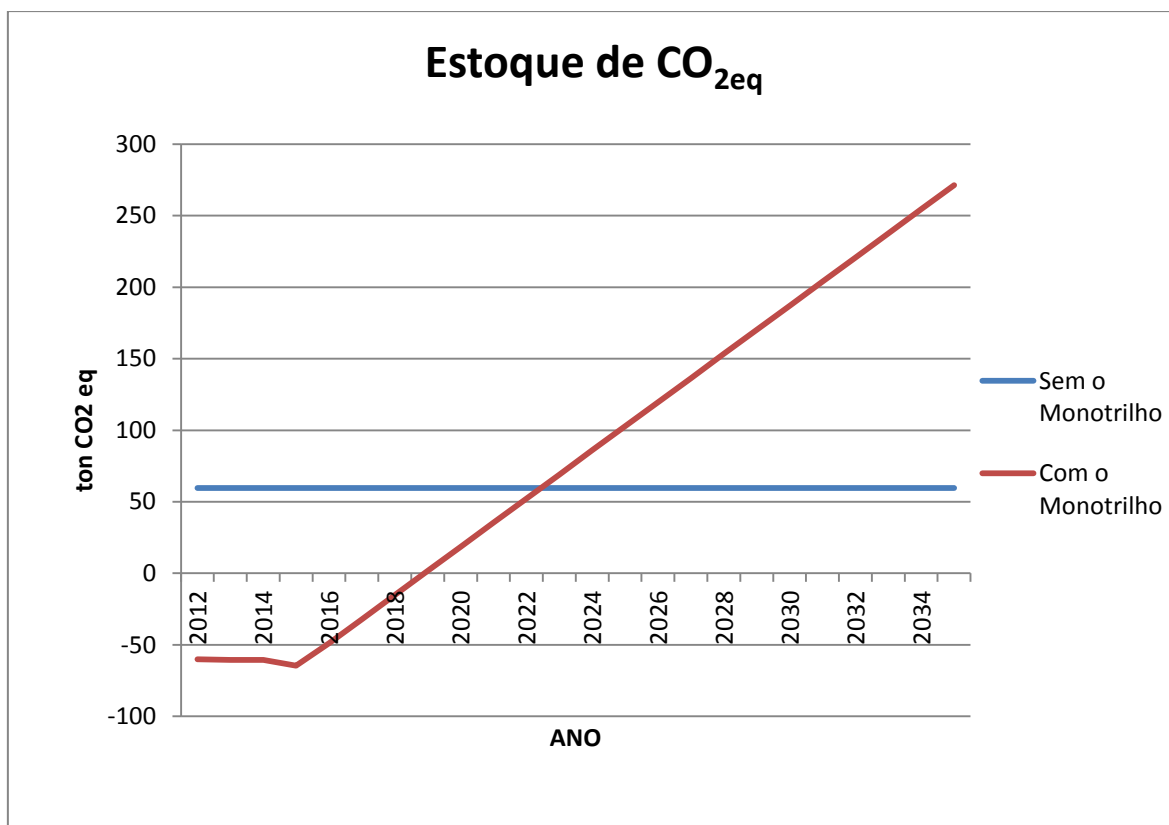


Figura 4: Estoque de dióxido de carbono equivalente contido nos exemplares arbóreos da área de estudo, considerando a presença ou inexistência do monotrilho e o plantio de 2.408 mudas.

Ressalva-se que, no cenário sem o monotrilho, foi considerado que não existiria o incremento médio anual dos indivíduos arbóreos já existentes. Sabe-se que esta é uma simplificação, pois, mesmo na fase adulta, os indivíduos arbóreos crescem, ainda que essa taxa de crescimento seja menor que a dos indivíduos arbóreos jovens.

Além disso, realizou-se a simulação do estoque de dióxido de carbono equivalente, caso a compensação ambiental de conversão de 19.760 mudas no FEMA fosse revertida no plantio do mesmo número de mudas (situação ideal), conforme Figura 5.

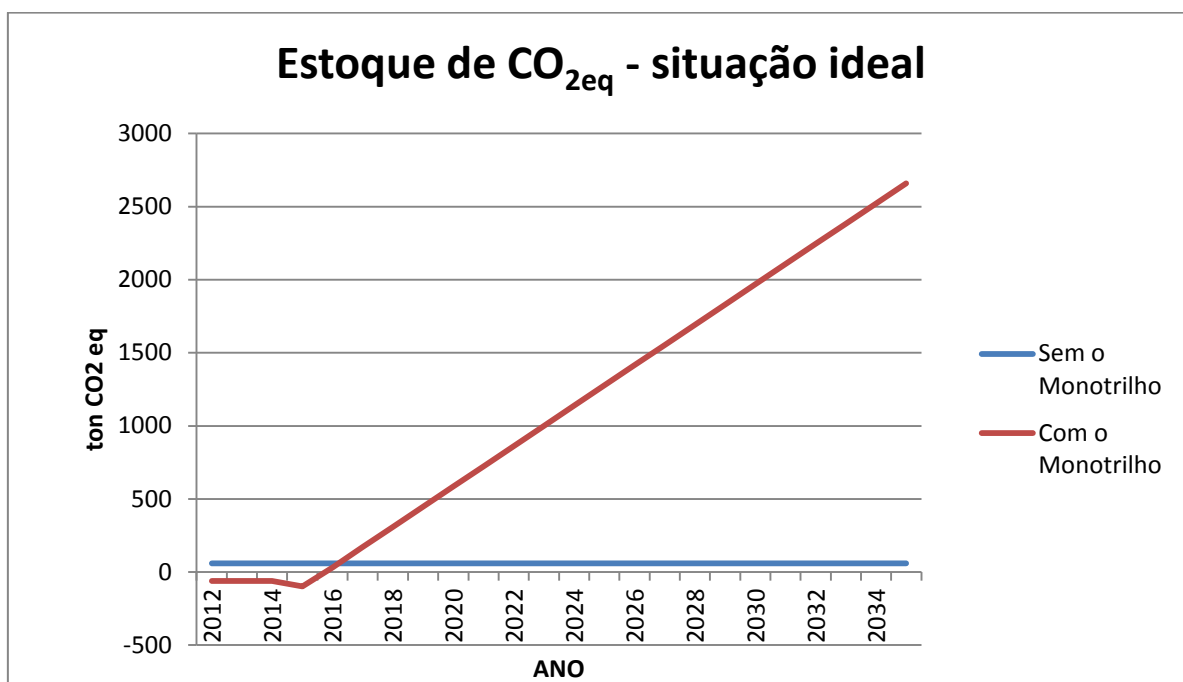


Figura 5: Estoque de dióxido de carbono equivalente contido nos exemplares arbóreos da área de estudo, considerando a presença ou inexistência do monotrilho e o plantio de 22.168 mudas.

Verifica-se um déficit de estoque de dióxido de carbono equivalente até o plantio das mudas, sendo que o estoque de CO₂ se iguala em meados de 2016. Ao final do período, o estoque de dióxido de carbono contando a participação do monotrilho é, aproximadamente, 45 vezes maior do que com a sua ausência.

Destaca-se que devido ao fato de desconsiderar o efeito dos transplantes e o consumo de combustível das motosserras nas emissões e remoções de GEE, o estudo sofreu certa limitação. Ressalta-se ainda que o escopo deste trabalho limitou-se apenas ao manejo florestal, não contemplando as demais atividades necessárias à implantação do monotrilho, como por exemplo a produção de concreto e aço e consumo de energia elétrica.

4. CONCLUSÕES

No sentido de estimular o desenvolvimento de inventários de emissões para as obras metro-ferroviárias, como proposta inicial, foi apresentada metodologia para estimar as emissões e remoções das atividades de manejo arbóreo do sistema de monotrilho.

No total, para implantação do monotrilha na área de estudo, foram suprimidos 249 exemplares arbóreos contendo um estoque de 59,55 toneladas de CO_{2eq}.

A queima de resíduos lenhosos foi a atividade com a maior contribuição nas emissões de CO_{2eq}, representando, aproximadamente, 90% das emissões. Toda a remoção de GEE é atribuída ao crescimento dos indivíduos arbóreos.

A partir do balanço de emissões e remoções de GEE, conclui-se que, no curto prazo, as atividades de manejo florestal para implantação do sistema de monotrilha aumentam as emissões de GEE do município de São Paulo. Entretanto, no longo prazo, as remoções de GEE superam as emissões, originando um saldo positivo.

Considerando o aspecto das mudanças climáticas, verifica-se que o termo de compromisso ambiental seria mais benéfico se contemplasse apenas a modalidade de compensação por plantio de mudas. Visto que o acréscimo de 19.760 mudas gera um estoque de dióxido de carbono equivalente, aproximadamente, 45 vezes maior.

Nota-se que o processo de execução das atividades de manejo florestal já é sustentável, uma vez que o resíduo lenhoso é utilizado como fonte de energia na indústria, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, as emissões de GEE.

Recomenda-se a adoção das seguintes práticas para melhorar o processo: reaproveitar o resíduo lenhoso em indústria próxima ao empreendimento, contratar profissionais especializados em manejo florestal que estejam localizados próximos à região das obras, dispor de veículos novos com alto grau de eficiência no consumo de combustíveis fósseis, substituir os fertilizantes nitrogenados por fertilizantes orgânicos e adquirir mudas de viveiros localizados próximos ao empreendimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para Estimar o Estoque de Carbono em Diferentes Sistemas de Uso da Terra.** Documentos 73. Embrapa Florestas. Paraná, 2002.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.

COELHO, L. L. **Compensação Ambiental: uma alternativa para viabilização de espaços livres públicos para convívio e lazer na cidade de São Paulo.** Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: Paisagem e ambiente) – FAUUSP. São Paulo, SP, 2008.

Companhia do Metropolitano de São Paulo. **EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental, Linha 17 – Ouro – Ligação do Aeroporto de Congonhas à Rede Metroferroviária.** São Paulo, SP. 2010.

Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Informações sobre o monotrilho.** Disponível em: < <http://www.metro.sp.gov.br/obras/linha-17-ouro/informacoes-sobre-monotrilho.aspx>. > Acessado em: 30/05/2015.

Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE, Metrô 2013.** São Paulo, SP. 2013.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014 Synthesis Report.** 2014. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf >. Acesso em: 31/05/2015.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual.** Vol II, Cap. 3. 2006.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. Estimativa da Biomassa e Carbono em Áreas Restauradas com Plantio de Essências Nativas. METRVM. 2009. Disponível em: < <http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:metrvm:metrvm-2009-n05.pdf> >.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2014**, ano base 2013. Brasil, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Relatório Final. 2011.

MÜLLER M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa de Acúmulo de Biomassa e Carbono em Sistema Agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 11-17. Colombo, PR. 2009.

NETO, J. A. P. **Estoques de Carbono em Sistemas Agroflorestais de Cacaueiro como Subsídios a Políticas de Serviços Ambientais**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2012.

SÃO PAULO, SP. Lei Municipal nº 13.430, de 13 de setembro de 2002.

SÃO PAULO, SP. Decreto Municipal nº 47.145, de 29 de março de 2006.

SCARINGELLA, R. S. **A CRISE DA MOBILIDADE URBANA EM SÃO PAULO**. *São Paulo Perspec.* [online]. 2001, vol.15, n.1, pp. 55-59. ISSN 0102-8839. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-88392001000100007> >.

VALERIO, A. F. **Qualificação e modelagem da biomassa e carbono em plantações de Pinus Elliotti Eng. Com diferentes idades**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati, PR: UNICENTRO, 2009.

VELASCO, G. N.; HIGUCHI, N. Estimativa de sequestro de carbono em mata ciliar: projeto POMAR, São Paulo (SP). **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**. V.5 N. 1, p. 135-141. Guarapuava, PR. 2009.

VIERA, M.; SHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P.; ARAÚJO, E. F. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul-RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**. V.1, n.1, p. 1-13. Santa Maria, RS, 2013.

WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Greenhouse Gas Protocol, Metodologia do GHG Protocol da agricultura. Disponível em: <
<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Metodologia.pdf> >. Acesso em: 30/05/2015.